

林野庁補助事業

令和6年度「新しい林業」に向けた林業経営育成対策
のうち経営モデル実証事業

北欧をモデルにした北海道・十勝型機械化林業経営
事業成果報告書

令和7年2月

有限会社大坂林業、株式会社渡邊組、有限会社サンエイ緑化、国立研究
開発法人森林研究・整備機構、北海道立総合研究機構森林研究本部、株
式会社フォテク

目 次

I 実証事業の概要

1 事業の名称	1
2 取組の背景	1
3 実証のテーマ	1
4 実証団体の構成	1
5 林業経営体、支援機関、実証事業関係者連関図	2
6 実証事業の内容	2
7 実証事業の収支改善目標	4

II 実証事業の実行結果及び課題

1 令和4年度及び5年度の実施結果及び課題	5
2 令和6年度の実行結果	7
3 実証事業の総括	26

III 今後の事業の展開方向	29
----------------	----

I 実証事業の概要

1 事業の名称

事業の名称は「北欧をモデルにした北海道・十勝型機械化林業経営」である。以下、本報告書では基本「十勝モデル」と略称する。

2 取組の背景

伐採作業から再造林・育成に関わるコストの削減や、安全かつ魅力ある「新しい林業」を目指すためには、機械化を推進する新技術の採用や、ICT を駆使した木材の生産および流通・販売のプロセスの最適化が不可欠である。北海道の十勝地域は、その地勢、経営規模、気候条件が、北欧で採用されている先進技術を取り入れるのに適した環境を有しており、この地で育まれた地域協力の精神と新たな技術を組み合わせることで、「新しい林業」の実例を創出し、技術の普及を目指す。さらに、このモデルを北海道内外に向けて発信し、中心となる拠点を築くことが望まれている。

3 実証のテーマ

北欧では、新しい機械技術と ICT を活用し効率性と低環境負荷を両立させた持続可能な林業が実現されている。これら作業計画から素材生産、流通、再造林・保育に至る、新技術を導入した安全で収益性の高い作業システムを、地形や気候などに類似点が多く機械化に適した北海道・十勝地方のフィールドを活用して構築する。具体的には、以下の最新技術の実証試験を北海道十勝のフィールドにおいて実施することとする。

- ① 生産計画 LiDAR 搭載 UAV を活用した、資源管理・路網開設の省力化
- ② 素材生産・流通 伐採データを ICT 生産管理に活用した素材生産の省力化
- ③ 再造林・保育 植栽作業の機械化と植栽位置情報を活用した保育作業の省力化

4 実証団体の構成

十勝モデルにおける実証団体は、以下の提案メンバー6 団体に加え、LiDAR 搭載 UAV による調査を担当した大澤木材(株)、機械検知材の受入れ検討を行った(株)サトウ、(株)関木材工業、(有)大坂林業と連携し、全体調整や調査などを担当した KITARIN ラボなどで構成される（図 I-1）。



図 I-1 十勝モデルにおける実証団体

代表林業経営体	有限会社	大坂林業	代表取締役	松村幹了
林業経営体	株式会社	渡邊組	代表取締役	渡邊祐哉
林業経営体	有限会社	サンエイ緑化	代表取締役	邊見秀明
代表支援機関	国立研究開発法人	森林研究・整備機構	理事長	浅野透
支援機関	北海道立	総合研究機構	理事長	小高 咲
支援機関	株式会社	フォテク	代表取締役	小玉哲大

5 林業経営体、支援機関、実証事業関係者連関図

十勝モデルにおける実証団体（林業経営体、支援機関、実証事業関係者）の連関図を以下（図 I-2）に示す。道総研林産試験場は、小型植栽機械の開発実証を担当として今年度から参加している。

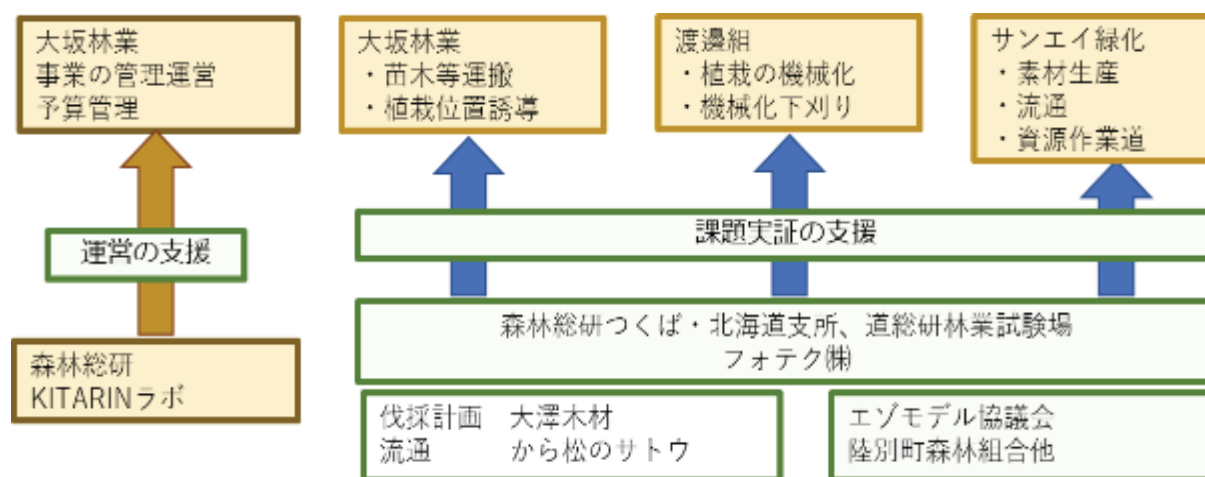


図 I-2 実証事業関係団体

6 実証事業の内容

1) 実施場所

図 I-3 に示されている通り、北海道十勝管内における幕別町忠類、大樹町、足寄町芽登、陸別町、新得町の5か所を実証拠点として選定し、これらの地域で生産計画の策定、伐採および木材の流通、再造林・保育に関する一連の実証試験を実施した。さらに、北海道内の他市町（釧路市、札幌市、美唄市、旭川市、下川町）および茨城県つくば市等に所在する各機関から支援協力を得る形で、北欧の最新技術の導入を図りながら、十勝地方の地域固有の条件を活かした林業技術の開発と持続可能な林業経営の推進に焦点を当てた。将来的には、この地域で得られた知見と成功例を他の地域にも広げることを目指している。これにより、地域に根差した林業の発展と、幅広い地域への持続可能な林業技術の普及を図っている。



図 I-3 実証事業の実施拠点

2) 事業区分毎の計画内容

① 生産計画

本課題では、LiDAR 搭載 UAV 等を活用した、資源管理・路網開設の省力化に関する「新しい技術」として、以下のような内容の実証を行う。

- (1)標準地調査によって実施している伐採予定林分材積の推定法を、光学カメラを搭載した通常型の UAV による調査に置き換えて、精度の改善と省力化を図る。
- (2)LiDAR 搭載 UAV を用いて、伐採予定地の地形を精度よく表現する 3D モデルを作成する。
これにより、従来の大縮尺地形図では捉えられなかった詳細を含め、伐採作業計画の策定に役立つ。
- (3)作業道路線計画の策定にこの 3D モデルを使用する可能性はあるが、現段階では伐採作業計画の精度向上に重点を置く。将来的には、地形情報を活用して効率的な計画を策定することを目指す。
- (4)LiDAR 搭載 UAV の飛行により、伐採地の地形や障害となる地物を把握する。これは、作業道開設における現地踏査の代替として役立ち、計画の精度をさらに高める。

② 素材生産・流通

本課題では、主伐事業の収支や安全性向上と、ICT 生産管理の実践、データを活用した効率的流通を実証する。

- (1)大樹町内民有林における主伐事業で、ICTハーベスタとフォワーダを用いた造材とICT機能によるデータ取得を検証する。
- (2)製材工場からの需要情報に基づいた生産管理を実施し、検証する。これには、多様な採材仕様に応じた生産指示ファイルの活用やカラーマーキング機能の利用が含まれ、山側と製材工場間の合意形成を促進する。
- (3)ICTハーベスタの最適採材機能を活用して採材を最適化し、採算性および生産性を向上させる。
- (4)人力による木材チョークと検尺を省略し、カラーマーキングによる仕分け効率化を検証する。

③ 再造林・保育

本課題では、スウェーデン製自動植付機に植栽位置誘導装置を実装して植栽作業を行い、位置精度と作業能率向上効果を検証する。また、昨年度自動植付機および人力により植栽した現場で、誘導装置を実装した乗用刈払機により下刈り作業を実施し、誤伐防止効果を検証する。

- (1) 大樹町及び陸別町に試験地を設定し、植栽位置誘導装置を実装した自動植付機により植栽作業を行い、作業能率を実装前と比較する。
- (2) 植栽列の位置情報を利用して乗用刈払機による下刈り作業を行い、作業精度と誤伐防止効果を検証する。

7 実証事業の収支改善目標

1) 生産計画

生産計画に係る実証の収支改善目標は以下の通りである。

- ・ 通常型 UAV により収穫調査経費の従来比 1 割削減
- ・ 3D モデル等を使用して作業道計画を作成することで、作業道計画経費を 1 割削減
- ・ LiDAR 搭載 UAV によって 2) 4) を実施することで踏査経費などの作業道開設経費を 1 割削減

2) 素材生産・流通

素材生産・流通に係る実証の収支改善目標は以下の通りである。

- ・ 完全機械化作業システムにより主伐生産性（皆伐型）の従来比 2 割向上
- ・ 人力検知の省略、仕分け効率化による収益性の従来比 1 割向上
- ・ 山側と製材工場間の合意形成、データの精度を担保した上でのデータによる取引を拡大
- ・ 山側のデータを活用し川下側にもメリットのある流通モデルを構築することで、トータルの流通コスト従来比 1 割削減

3) 再造林・保育

再造林・保育に係る実証の収支改善目標は以下の通りである。

- ・ 自動植付機の償却・維持管理を含めた植栽コストで人力植栽作業を下回る。
- ・ 事前の植栽位置マーキングや現場での苗間測尺なしでの植栽を可能とする。
- ・ 乗用下刈機の償却・維持管理を含めた下刈りコストで人力下刈り作業を下回る。
- ・ 植栽位置情報活用により、下刈り時の誤伐率を半減させる。

II 実証事業の実行結果及び課題

1 令和4年度及び5年度の実施結果及び課題

1) 生産計画（資源把握・路網作設）

(1)令和4年度の実施結果

令和4年度には、LiDAR搭載 UAV を活用した森林資源管理と路網作設の効率化を目指した実証が行われた。調査対象地（約3.5ha）において、UAVによるフライト時間は10分と短時間でありながら、従来的人力による1日分の作業を代替できる効率性が確認された。取得した点群データを解析し、地形モデルや樹木情報（樹高、樹冠面積等）を抽出した結果、樹木本数の誤差0.08%、樹高の誤差5.2%と高精度であった。これにより、現場踏査作業の大幅な削減と安全性向上が実現した。

また、地形解析を基にした路網計画では、等高線や地形分類を活用し、既設路網や障害物を考慮した効率的な路線選定が可能となった。一方で、解析精度の向上や、解析ソフトウェアのパラメーター設定の標準化といった技術的課題が明らかになった。これらの課題を克服することで、適用範囲の拡大が期待された。

(2)令和5年度の実施結果

令和5年度には、調査範囲を約8haに拡大し、大規模なデータ取得が行われた。取得した点群データを基に、資源量や樹高、体積の精度の高い把握が可能となり、出材量予測の精度も向上した。伐採後の実績との比較において、精度の高さが実証され、地域特性に応じたデータ蓄積の重要性が示された。

路網計画では、地形モデルを用いた計画立案の効率化がさらに進展し、新設路網の提案において既設路網との連携やコスト削減の可能性が明確となった。ただし、現場条件に適したデータ解析方法や、路網作設における法規制対応の必要性が引き続き課題として残された。

(3)令和6年度への継続の必要性

令和6年度の取組は、これらの技術をさらに実務に適用するために必要不可欠であった。特に、地域ごとのデータ蓄積と標準化、路網計画の精度向上に向けた実証が進展することで、持続可能な森林経営モデルの確立に寄与することが期待された。

2) 素材生産・流通

(1)令和4年度の実施結果

令和4年度には、ハーベスタとフォワーダによる完全機械化CTL (Cut to Length) 作業システムの実証を大樹町 60-51 小班のカラマツ人工林(約 3.4ha、皆伐地)で行った。StanForD (Standard for Forest machine Data communication) を山側と製材工場間での情報共有の核として活用し、生産データの標準化を図った。ICT ハーベスタには、作業指示ファイルを用いてリミテーション機能やカラーマーキングを活用し、材の仕分け効率化を実現した。作業終了後には hpr (Harvester Production Report) ファイルを出力し、生産量や伐採木ごとの情報を Excel 等で管理可能とした。

ただし、普及型ハーベスタでは StanForD 準拠のデータ処理に制限があり、位置情報の付加やリアルタイム通信が難しかった。この課題を克服するため、GNSS を搭載して移動経路を示し、Stem の時間情報と絶対座標を付与するアプリケーション「Timber base Cloud」を開発。Google Map 上で丸太情報を可視化し、効率的な生産管理を可能とした。作業結果として、11 日間で 704.8m³ の生産量を記録し、生産性は 64.1m³/人・日を達成した。

さらに、ハーベスタによるカラーマーキングを活用し、製材工場への無検知材輸送の可能性を検証した。生産データと工場での自動選木機データを比較した結果、本数や材積において高い一致率が確認され、データ取引の可能性が示唆された。一方で、運材トラックにおける写真検知の精度向上や、現場での材の取り残し防止が課題として挙げられた。

(2)令和5年度の実施結果

令和5年度には、作業範囲を拡大し、カラマツ人工林での CTL 作業を継続実施した。ICT ハーベスタに加え、PONSSSE 社製や KETO 社製のハーベスタヘッドを導入し、複数機種による生産性の比較検証を実施した。Timber base Cloud は、地形データの重ね合わせ機能や材のソート機能を追加し、現場での活用性が向上した。

また、フォワーダ集材においては、積載比重の計測に基づき、生産量の重量検収が可能であることを示した。伐採木の質量や材積のデータを蓄積し、林地残材の割合や特性も明らかになった。さらに、自動選木機との比較において、ハーベスタ計上材積との誤差が小さいことが確認され、データ活用による流通の効率化の可能性が実証された。

(3)令和6年度への継続の必要性

令和6年度においては、これらの技術をさらに現場で活用し、業務の効率化と標準化を進めることが不可欠であった。特に、ICT ハーベスタと自動選木機を活用したデータ取引の拡大や、Timber base Cloud を活用したデータの統合管理が、地域の林業モデルとして確立されるための重要な要素となる。

3) 再造林・保育

(1)令和4年度の実施結果

令和4年度には、再造林作業の機械化システムを構築し、陸別町のカラマツ伐採跡地に試験地を設定して実証試験を実施した。スウェーデン製自動植付機 (Bracke 社 P12. a) 、

乗用刈払機（筑水キャニコム社 山もつとモット）、クラッシャ（Seppi 社 MINI-BMS125）を活用し、地拵え、植栽、下刈り作業の効率化を目指した。

地拵えでは、クラッシャが伐根全数を破碎し、乗用刈払機は列間伐根を破碎。植栽では、自動植付機による作業工程は平均 22.7 秒/本（2.1 人/ha）で、北海道のコンテナ苗植栽標準単価 91,900 円/ha を下回るコストが試算された。一方で、深植え傾向や樹高の低さが課題として挙げられた。

人力植栽試験では、従来型植栽と GNSS 誘導装置を活用した植栽の比較を行い、誘導装置を用いることで精度と効率が向上し、人工数を削減可能であることが確認された。誘導装置により直線性の高い植栽が実現し、下刈り時の植栽木識別にも有効性を示した。

(2)令和 5 年度の実施結果

令和 5 年度には、同様の機械化システムを用いて試験地を拡大し、大樹町と陸別町で実証を実施。クラッシャによる伐根全数処理を伴う地拵えでは、作業工程が 5.6 人/ha と試算され、既存データと一致。破碎物のマルチ効果により、初年度下刈りの省略・軽減が期待された。

自動植付機では、植栽位置誘導装置を実装し、マーキングを不要とすることで人工数を削減。苗木補給工程の改善により作業効率が向上し、植栽コストは昨年度の 88,900 円/ha から 69,400 円/ha へ低減した。また、位置誘導装置は誤伐防止にも寄与し、植栽列の整列性向上が確認された。

乗用刈払機による列間下刈りは、作業工程 0.7 人/ha と省力化効果を示した。誘導装置を活用することで列間刈りの精度を高めつつ、下刈り時の誤伐率を 0.8%に抑える成果が得られた。

(3)令和 6 年度への継続の必要性

これらの取組は、造林労働力不足への対応やコスト削減に有効であり、引き続き実務での技術適用性を検証することが不可欠であった。特に、誘導装置や自動植付機を活用した省力化技術の普及は、持続可能な森林管理に向けた重要な基盤となる。

2 令和 6 年度の実行結果

1) 協議会、現地検討会等の開催結果

事業の効率的な運営を目指し、専門分野のアドバイザーやオブザーバーを含めた実証団体による全体協議会を 2 回実施し、課題に応じて不定期に打合せ等を頻繁に行った。これにより、事業に関する意見交換を活発に行い、プロジェクトの進行をスムーズに進めることができた。さらに、事業の周知と地域ネットワークの構築、新しい技術の普及を目的として、地域の林業者を対象とした現地見学会を大樹町と陸別町でそれぞれ 2 日に渡り開催して、両地区で 50 人以上の参加者を得たほか、参加者 150 人規模の現地検討会を地元の道庁出先機関である普及組織と共催で 1 回開催した。さらに、森ハブや北海道など地域の他の事業が開催するシンポジウム・セミナーや実演会への積極的な参加を通じて、広報活動を展開した。協議会では、専門分野の大学教員 2 名をアドバイザー

として選任し、進捗状況や進め方についてのアドバイスを得る体制を整えた。さらに、関連する行政担当者、機械メーカー、ICT 技術者等のオブザーバーに参加いただき、外部からの意見や新しい技術情報を積極的に取り入れることができた。

①アドバイザーの選任

本事業について専門的な立場からのアドバイスを頂くため、有識者等からなる2名のアドバイザーを選任した。

委 員 名	所 属
今富裕樹	東京農業大学地域環境科学部
尾張敏章	東京大学大学院農学生命科学研究科附属北海道演習林

②第1回協議会

日時：2024年5月21日 13:30～15:30

場所：Web 会議（ホストは大坂林業@忠類）

参加：対面6名、Web35名（アドバイザー2名、林野庁経営課、評価委員など16名など）

内容：事業の効率的な推進を図るため、昨年度の実施内容と各課題の本年度実行計画について全員で共有した。

③現地見学会（1）

日時：2024年5月23, 24日 9:00～15:00（来場者は時間内に自由に来場）

場所：大樹町蒔和の一般民有林

内容：造林機械の試験風景の見学と質疑応答

- ・下刈り機（神刈）
- ・植栽位置誘導装置

④現地見学会（2）

日時：2024年5月29, 30日 9:00～15:00（来場者は時間内に自由に来場）

場所：陸別町止若内の一般民有林

内容：造林機械の試験風景の見学と質疑応答

- ・海外製植栽機械（Bracke P12. a）
- ・植栽位置誘導装置

⑤現地検討会（図Ⅱ-1）

日時：2024年9月27日 9:30～15:30

：大樹町民有林(71林班14小班)

参加：150名

○室内セッション 9:30～12:00

(1) 場所：大樹町福祉センター

(2) 内容：「十勝モデル」の説明と質疑応答

- ・「十勝モデル」で実証した新しい林業技術について
- ・UAVによる林分把握技術
- ・ICTハーベスタの活用と伐採流通
- ・造林作業と誘導技術
- ・スマート林業の諸制度（十勝総合振興局森林室大樹事務所・峰岸氏）

○ 現場見学会 13:30～15:30

- ・LiDAR搭載UAVによる林地把握
- ・ICTハーベスタ、クラムバンクスキッドの実演
- ・CLAS植付ナビと各種下刈り・地寄せ機械

－新しい林業・経営モデル構築事業－
**北欧をモデルにした北海道十勝型
機械化林業経営 現地検討会2024**

本検討会では、昨年度の内容をさらにアップグレードした北海道十勝型機械化林業経営モデルを現地で紹介します。
最新技術を活用した持続可能な林業経営の一連の流れを体験できる貴重な機会です。ドローンでの林分把握、ICT搭載ハーベスタによる伐採・流通、位置誘導装置を用いた再造林など、スマート化された工程をご覧ください。
持続可能な林業の未来を語る重要なステップとして、ぜひご参加ください。

事前申込
9月17(火)
締め切り

令和6年9月27日(金) 9:30～15:30

- 9:30～12:00 室内セッション：大樹町福祉センター
- 13:30～15:30 見学会：大樹町民有林(71林班14小班)

【室内セッション】 9:30～12:00 (福祉センター 北海道十勝大樹町東通29)

- ・十勝モデルで実証した新しい林業技術について
- ・ドローンによる林分把握技術
- ・ICTハーベスタと伐採流通 (2～3 報)
- ・造林作業と誘導技術の報告 (2 報)
- ・スマート林業関係の諸制度

【現地見学会】 13:30～15:30 (裏面地図)

- ・LiDAR付ドローン等による林地把握
- ・ICTハーベスタ等、伐採流通関係の実演
- ・CLAS植付ナビと各種下刈り・地寄せ機械

主催 〔北欧をモデルにした北海道十勝型機械化林業経営〕実証グループ
協力 十勝総合振興局森林室

図 II-1 現地検討会の案内チラシ

⑥第2回協議会

日時：2025年1月16日 13:15～16:30

場所：とかちプラザ (Web 会議併用)

参加：対面 21 名、Web14 名

内容：本年度に実施した事業の各課題の報告と事業3全体の総括

⑦研究発表会等への参加

- 北海道スマート林業推進事業ミニセミナー（北森カレッジ、24年8月7日）に参加し、
「ICT ハーベスタを活用する林業の未来」と題する発表：邊見秀明
- 「産総研北海道センターシンポジウム in 釧路 2024（2024年10月25日、ANA クラウン
プラザホテル釧路）」に参加し、以下のポスター発表を実施
 - ・野上一平:「林業における LiDAR 搭載 UAV の有用性」
 - ・佐々木尚三:「スマート林業と未来の森づくり:デジタル技術の挑戦」
- 林業 DX タスクフォース 2024 ワークショップ（北森カレッジ、24年11月14日）に参加し、「北海道のスマート林業」と題する発表：佐々木尚三

⑧雑誌・新聞記事等

○雑誌掲載

- ・渡辺一郎、造林作業の機械化に挑む～山もっとモットの開発と今後の展開～、機械化林業 849
- ・近藤佳秀、コンテナ苗植栽機械の開発、林産試だより 2024年8月号
- ・中澤昌彦、林業における新技術とデジタルデータの活用、森林技術 990
- ・佐々木尚三「スマート林業の実践と展望 ―技術革新による持続可能な未来への貢献―」山林 1681
- ・佐々木尚三、北海道における新しい林業経営モデル事業「十勝モデル」の取組、杣経 74

⑥学会活動等

- ・山田健、佐々木達也、古家直行、小玉哲大、対馬俊之、渡辺一郎、渡邊祐哉、邊見秀明：自動植付機への植栽位置誘導装置の実装、森林利用学会学術研究発表会講演要旨集、30：12（2023.11）
- ・渡辺一郎、小玉哲大、佐々木達也、古家直行、山田健、渡邊祐哉：位置誘導装置を用いた乗用型刈払い機（山もっとモット）の下刈り作業、第135回日本森林学会（2024.3）
- ・佐々木達也、古家直行、渡辺一郎、山田健、小玉哲大、渡邊祐哉：GNSS を利用した苗木の植付け位置への誘導精度、第135回日本森林学会（2024.3）で発表予定
- ・山田健、佐々木達也、中村隆史、小玉哲大、佐々木尚三、丸谷聖一、野上一平：植栽位置誘導装置の人力植栽器具への実装、森林利用学会学術研究発表会講演要旨集、31：17（2024.12）
- ・「十勝モデル」実証グループ：十勝モデルの3年間の実証事業の報告（仮）、森林利用学会シンポジウムで報告予定（2025.3）

⑥学校や現場教育等

- ・帯広農業高校におけるスマート林業（造林）の授業（24/9/30、大坂、中村ほか）
- ・林業技士スクーリングにおけるスマート林業の講習（24/10/22、佐々木）
- ・帯広農業高校におけるスマート林業（伐採）の授業（24/11/18、邊見ほか）
- ・北海道大学工学院におけるスマート林業の講義（24/12/3、佐々木）
- ・北海道大学農学部におけるスマート林業の講義（25/1/10、24、佐々木）

2) 令和6年度の実行結果（経過）及び取組の評価と課題

① 森林資源把握・路網計画

(1-1) LiDAR 搭載 UAV を活用する森林資源把握

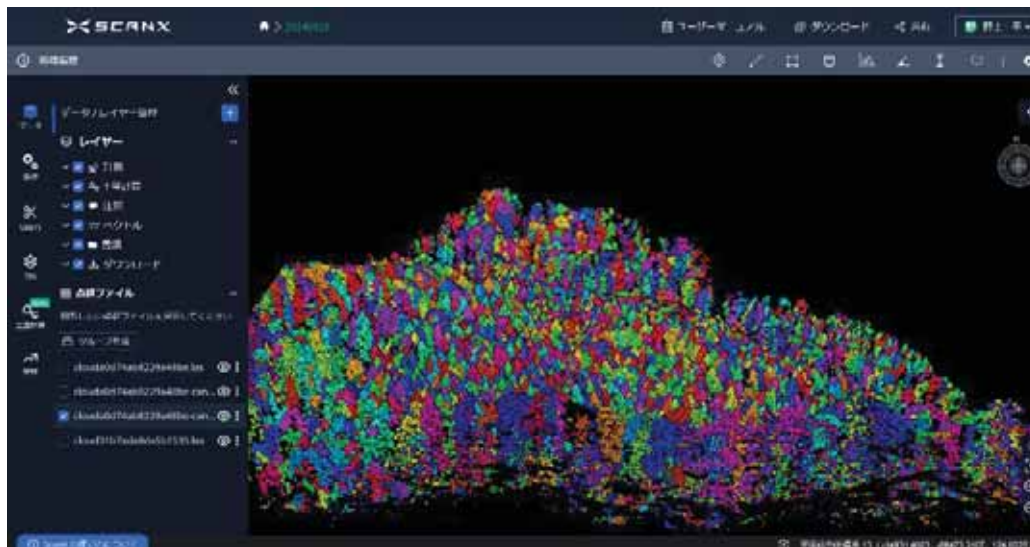
LiDAR 搭載 UAV を活用した森林資源把握技術について、持続可能な森林管理の基盤構築に向けた重要な手法として、9ha のトドマツ人工林や 3ha のカラマツ人工林など、複数の調査箇所において実証調査を実施した。LiDAR センサーを搭載した UAV を使用することで、地表面や樹木構造の詳細なデータを短時間で取得することが可能となった。また、取得されたデータを元に、樹木の密度や樹高、体積を高精度で推定し、従来の人力踏査作業を大幅に省力化することが可能であることが示された。さらに、SCANX 等の解析ツールを用いることで、現地調査との比較で誤差が極めて少なく、樹木本数や平均樹高の高い精度が実証された。

具体的には、林齢 72 年のトドマツ人工林で計測された結果、解析値は 2,530 本、現地調査値は 2,579 本とわずかな差であり、樹高や森林簿データとも高い一致を示した。また、カラマツ人工林では林齢 44 年の調査を行い、計測値 787 本に対し、現地調査値 801 本と高い精度を確認した。さらに、UAV データを用いた出材予測では 144m^3 の予測に対し、実際の伐採結果は 142m^3 であり、出材精度の向上にも貢献している。

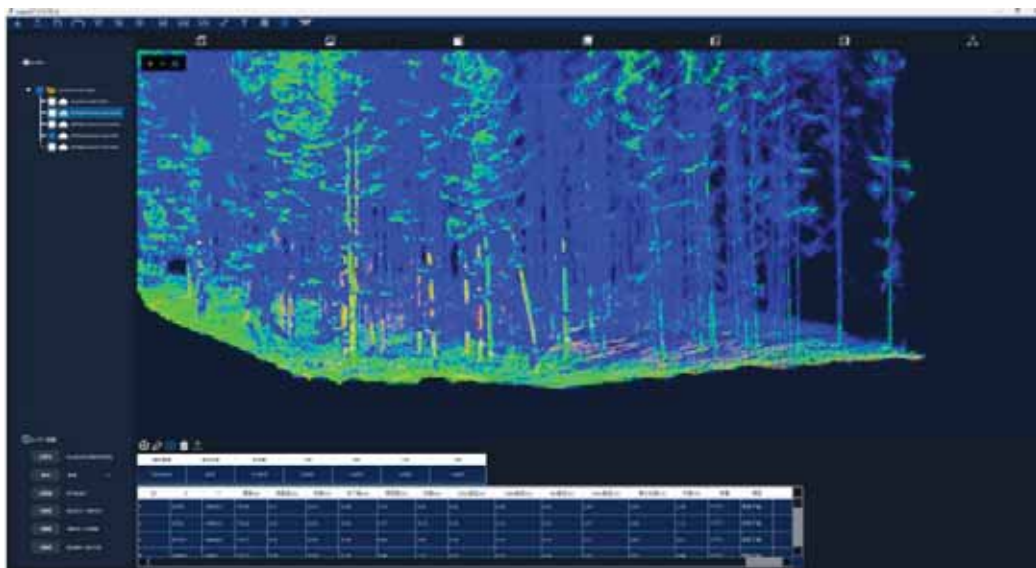
データはタブレット端末に取り込まれ、現場作業者がリアルタイムで確認できる仕組みも整備された。これにより、現場での意思決定が迅速かつ正確に行えるだけでなく、作業効率が大幅に向上した。地図や樹木解析結果を共有することで、現場作業と管理部門の情報連携が強化され、誤作業の防止や計画修正の柔軟性が確保された。



図Ⅱ-2 LiDAR 搭載 UAV では、着色された林分の詳細な 3D 点群モデルデータをフライト中リアルタイムに取得できる



図Ⅱ-3 条件が整えば、3D 点群モデルデータをツールで分析して、
単木毎の解析も可能になってきている



図Ⅱ-4 点群モデルには樹幹だけでなく、地表面も表現されている。
樹頂点と地表面の差によって樹高を求めることが可能となる

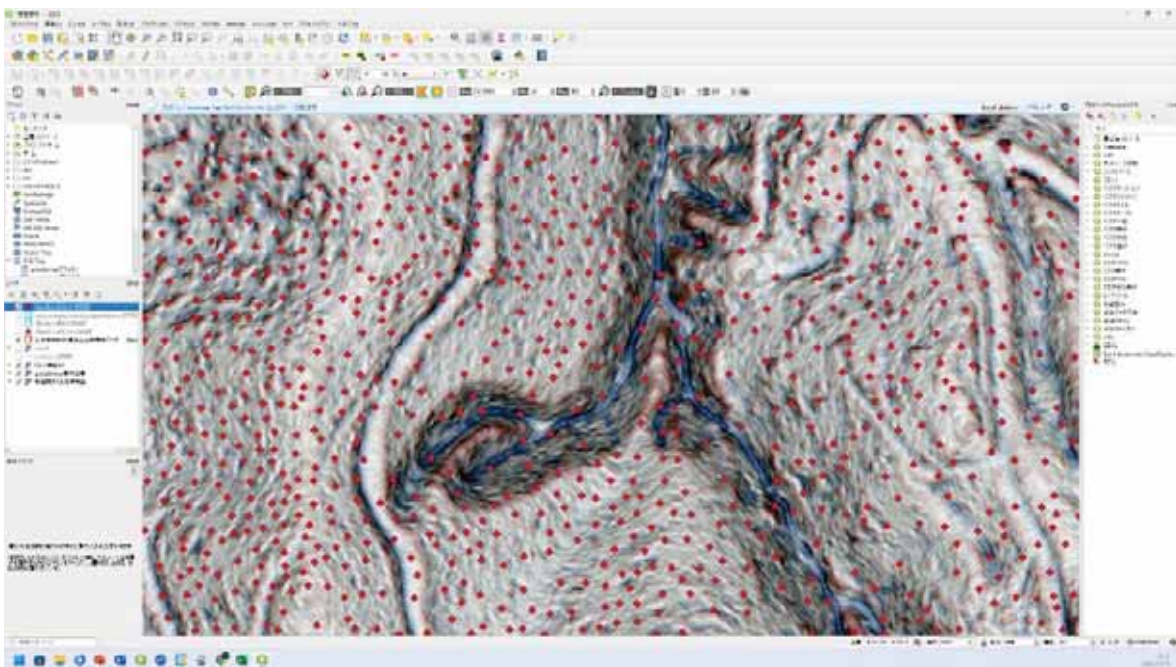
(1-2) LiDAR 搭載 UAV を活用する路網計画

LiDAR 搭載 UAV は、路網計画においてもその高い有用性が確認された。UAV を活用して取得した地形データをもとに、地表面モデル（DEM）や等高線を生成し、GIS ソフトウェアと連携させることで、新設路網の設計や既存路網の把握を効率的に進めることが可能となった。この手法により、現場での踏査作業を大幅に削減しつつ、作業道作設の効率化と安全性の向上を実現した。

解析データは GIS に取り込まれ、樹木位置や既存の路網を視覚的に把握することが可能であり（図Ⅱ-5）、机上での設計段階から複数の選択枝を検討することができた。また、作成した地図や解析データをタブレット端末で現場に共有する仕組みを導入し、現場作業者はリアルタイムで最新の情報を確認しながら作業を進めることが可能となった。これにより、計画と実地作業の整合性が向上し、路網作設時の不確実性を低減した。

特に地表面データから作成された 3D モデルを活用した路網計画では、地形の傾斜や障害を正確に考慮した設計が可能となり、作業道の合理的な配置を実現した。タブレットを用いて現場で道の位置を確認しながら作業を進める（図Ⅱ-6）ことで、計画と施工の間で生じがちな不一致を回避することができた。また、現場状況に応じて設計を即時に修正することで、迅速かつ正確な施工を支援した。

これらの取り組みにより、法律や規則に基づく「丈夫で簡易な道」の設計が高い精度で実現された。さらに、GIS との高い互換性を活かし、新設路網の計画に加え、既存路網の再評価や適切な維持管理にも貢献した。



図Ⅱ-5 フィルタ処理後の地表面の状況：皆伐後のような林床が明らかになり、地形図に表現されない微地形や既設路網も可視化され、森林作業道などの計画立案を効率化



図Ⅱ-6 地図や解析データは
タブレットで現場に共有

(1-3) オルソ画像と樹高データを活用した AI 資源解析

オルソ画像と樹高データを活用した AI 資源解析は、森林資源管理の効率化と精度向上において画期的な技術である。令和 6 年度には、トドマツ人工林を対象とし、数値標高モデル (DEM) や地表面モデル (DSM)、およびオルソ画像を組み合わせた解析を通じて、道総研が開発した AI 技術を用いた資源把握が試みられた。

調査は、LiDAR 搭載 UAV (Matrice 300 RTK+Zenmuse L1) による地表面データの取得と、RTK 対応 UAV (Phantom 4 RTK) を使用した高精細なオルソ画像の生成を組み合わせで行われた。解析では、DEM および DSM の差分計算により作成された数値樹冠高モデル (DCHM) を基に、道総研 AI のトドマツ推論モデルを活用した。これにより、施業対象区画内の単木判別、樹冠面積の計測、径級分布の推定が実現し、林分全体の資源量評価が効率的かつ高精度で行われた。

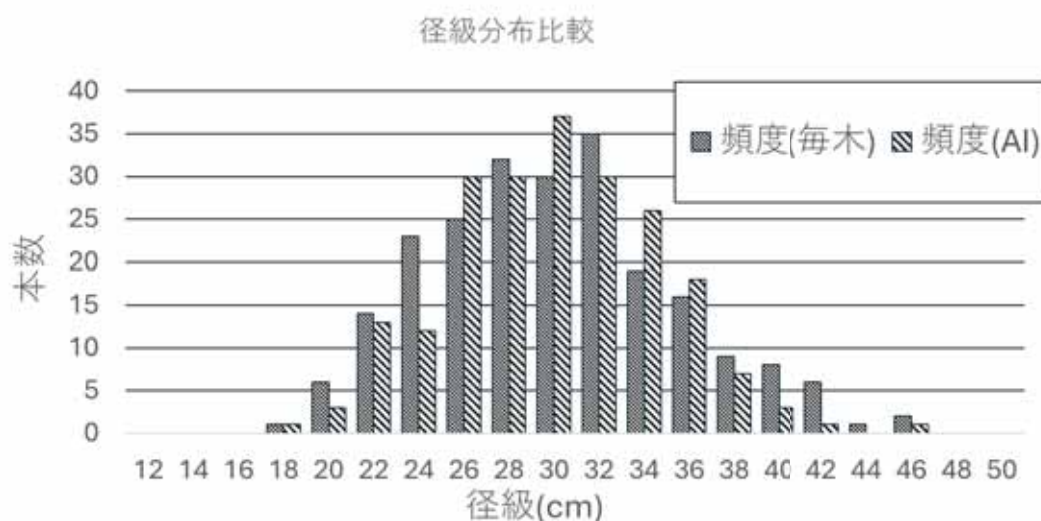
結果として、立木本数の推定精度は 93.4%、林分材積の精度は 94.4%に達し、毎木調査との比較では全木 DBH 平均値が 99.2%の一致率を示した (図Ⅱ-8、図Ⅱ-9)。また、AI による単木 DBH 推定と実測値の比較では、RMSE (Root Mean Square Error、予測値と実測値の誤差の大きさを評価する指標) が 3.86 cmであった。これにより、従来の人力による全木毎木調査と比較して、大幅な省力化と人的コスト削減が確認された。例えば、従来の全木毎木調査に 4 人・日を要していたのに対し、UAV 調査は 1 人・日で完了した。

ただし、誤差の要因として、オルソ画像上で目視判別が困難なトウヒの混入や隣接樹冠の影響により隠れた立木が挙げられた。また、DBH 推定モデルがトドマツに特化しているため、トウヒに対する精度が低下する点も確認された。これらの課題は、撮影技術のさらなる向上や事後的な調整作業によって解決可能と考えられる。UAV データの精度を向上させるためには、高品質な撮影と適切な解析スキルが必要であり、現場技術者の技術向上が引き続き求められる。

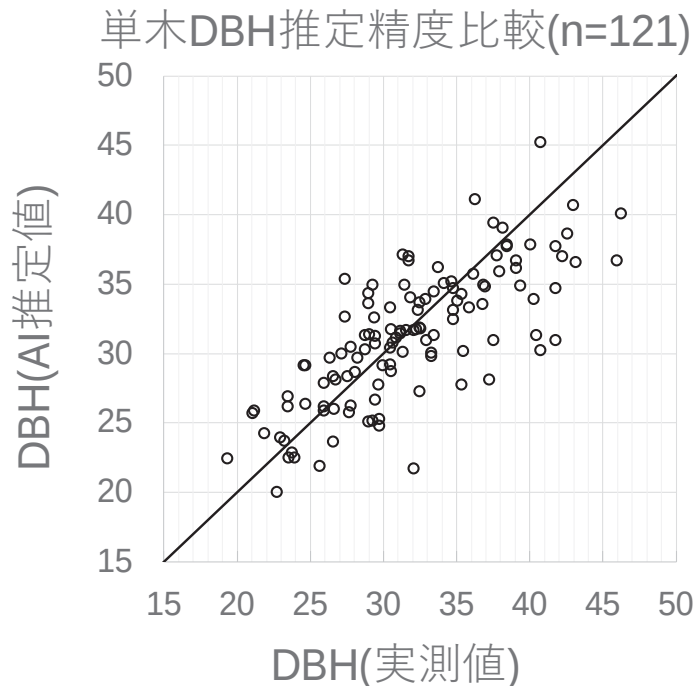
本調査により、AI を活用した資源解析の有効性が実証されるとともに、今後の技術展開に向けた具体的な課題も明らかとなった。



図Ⅱ-7 道総研 AI のトドマツ推論モデルによる樹冠抽出：画像全体での単木判別を行い、その後、施業対象区画内の推定樹冠を GIS 上で抽出、それらの単木 DBH を推定



図Ⅱ-8 道総研 AI 解析と毎木調査結果の径級分布比較：分布の形状は概ね一致しており、道総研 AI の全木 DBH 平均値は 29.9 cm、毎木調査では 30.2 cm であり、林分平均値の精度は 99.2% であった



図Ⅱ-9 道総研 AI による推定単木 DBH と毎木調査による DBH 計測値の比較:
実線より上は過大推定、下は過少推定

②素材生産・流通

(2-1) 造材データの共有可能な完全機械化 CTL 作業システム

本事業においては、StanForD (Standard for Forest machine Data communication) を山側と製材工場間でやりとりする情報の核として利用する。StanForD とは、Skogforsk (スウェーデン森林研究所) が開発し普及したものであり、生産管理する者と現場の林業機械との間でやり取りする情報の記述形式を定めたデータ規格として世界標準となってきた。StanForD では、pin と呼ばれる造材指示ファイルをハーベスタの制御 PC に入力することができる。直径と材長をどう取り扱えば良いかという指示情報が含まれており、バリュースタッキング、カラーマーキング、リミテーションといった機能を使用して、価値が最大化されるよう材の仕分けや生産量の調整が可能である。また、hpr と呼ばれる生産報告ファイルを出力することができ、ある単位時間ごとに原木の生産状況を把握することが可能である。hpr には、ベースマシンや作業機、作業現場等の情報の他に、伐採木ごとの情報である Stem および丸太ごとの情報である Log ファイルが内在されている。

昨年度までに、カラマツ人工林において、ハーベスタとフォワーダによる完全機械化 CTL (Cut to Length : 短幹材集材) 作業システムの実証を行った。pin による適切な造材指示や、hpr を解読することによる一日ごとの生産量と作業時間等の生産管理、開発した丸太を Google map 上にマッピングするアプリケーション Timber base Cloud による集材管理などを通して、日本における StanForD の有効性を明らかにした。また、フォワーダによる集材状況の把握を容易にするために、丸太の重量検収の可能性を検討し、フォワーダやト

ラック等の積載質量からおおむね誤差 5%未満で積載材積を予測することができ、丸太生産量の重量検収に可能性があることを明らかにした。他に、カラマツの重心位置が根元からの高さ割合で 0.28 であり、スギの 0.38 に比べ低く伐倒し難い樹種であること、立木全質量に対して採材した丸太の幹質量割合が 0.72 であり、立木全質量の約 1/4 が林地残材となっていることも明らかにした。

本年度は、さらなる StanForD の有効性を示すために、幕別町元忠類トドマツの平地林において、WT (Whole Tree: 全木集材) 作業システムの検証とトドマツの比重計測を行った。伐木に Ponsse 社の H6 ヘッドを搭載したハーベスタ、木寄せにグラップル、造材に同ハーベスタ、巻き立てに同グラップルを用いた短距離全木集材システムである (図 II-10)。

この試験では、伐木や木寄せの工程は把握していないが、土場における造材工程の把握することで CTL よりも施業地全体の進捗状況を容易に生産管理することができ、WT 作業システムにおいても StanForD の活用可能性が高いことを明らかにし、さらなる hpr データ (トドマツ、平地林) を蓄積することができた。

また、トドマツの重心位置が、高さ割合 0.40 とスギ (0.38) と同程度でカラマツ (0.28) より高いこと、トドマツの幹比重 0.72 (0.64~0.77) t/m³ とカラマツ (0.76 (0.71~0.80) t/m³) より軽いことが、数値としては変動が少なく安定しており、トドマツの重量検収の可能性が高いことを明らかにした (図 II-11)。さらに、トドマツは質量ベースで 4 割が林地残材とカラマツ (1/4) より多く、WT 作業システムではその多くが土場に集積されることも含めて、トドマツのバイオマス収穫の可能性が高いことを明らかにした。

作業システム

1. 伐木：ハーベスタ
2. 木寄：グラップル
3. 造材：ハーベスタ
4. 巻立：グラップル

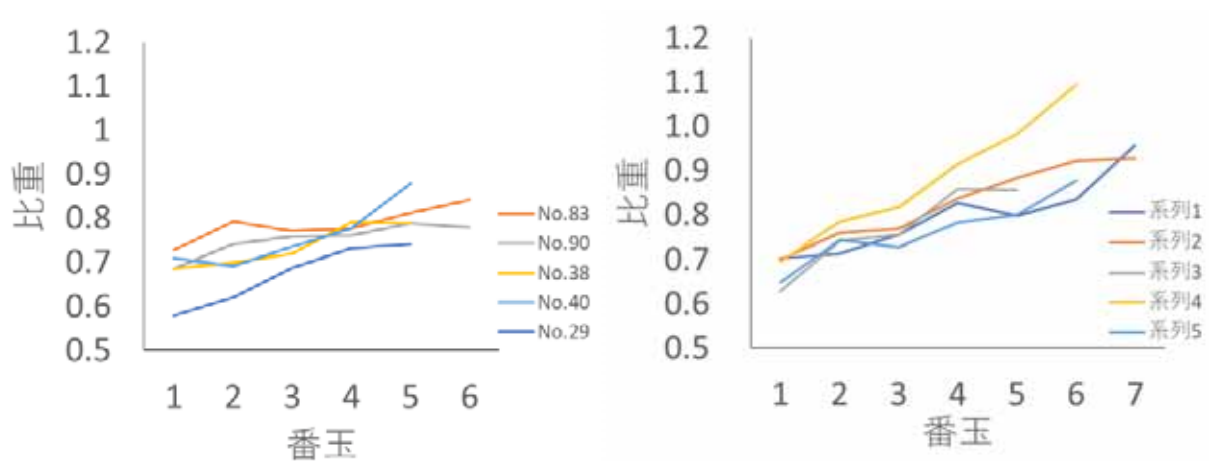


全木の質量計測



ハーベスタによる造材

図 II-10 実証試験に用いた機械 (Ponsse 社 H6 ヘッド搭載の ICT ハーベスタとグラップル) : 全木の質量計測には電子式ロードセルをグラップルで吊るして実施、全木材の重心位置を吊るすのは試行錯誤が必要であった



図Ⅱ-11 立木1本ごとの丸太比重(左:トドマツ、右:カラマツ):トドマツの幹比重0.72 (0.64~0.77) t/m³ とカラマツ (0.76 (0.71~0.80) t/m³) より軽い、数値としては変動が少なく安定しており、トドマツの重量検収の可能性が高い



図Ⅱ-12 クラムバックスキッドを使ったWT作業システム:施業地が大きく木寄せ・集材距離が長くなる場合は、WT作業システムにおいて本機械で代替できる可能性が示された

本年度の施業地が小さかったことから使用しなかったが、現地検討会において別の事業で諸岡と森林総合研究所が開発した世界で唯一のゴムクローラーベースのクラムバックスキッドを紹介し(図Ⅱ-12)、施業地が大きく木寄せ・集材距離が長くなる場合は、WT作業システムにおいて本機械で代替できる可能性が示された。

以上より、本課題では北欧で開発された StanForD を核として、専用機だけでなく一般普及機を活用した CTL (短幹) および WT (全木) の十勝型完全機械化作業システムを構築し、それぞれの場合でも木材の生産から流通までの生産性が高いだけでなく、バイオマス燃料生産の可能性が高いことを実証した。

(2-2) 機械検知材の生産と工場受け入れ

令和6年度において、トドマツ林を対象に ICT ハーベスタを活用した原木生産および製材工場での受け入れに関する実証試験を実施した。従来の手検知方法との比較や、ICT を活用した効率的な運用可能性を検証するため、トドマツ林分を対象に設定し、以下の手順で調査を行った。

作業準備と採材：調査対象は、胸高直径 20cm 以上のトドマツを中心とした林分で、胸高部に赤スプレーを用いたマーキングを施したうえで伐採対象を選定した。作業指示には APT ファイルを活用し、直径階や用途別に 25m³単位で採材が停止する数量制限機能を使用。ハーベスタには Ponsse H6 ヘッドを採用し、ダイレクトキーによる材種選択機能のほか、オペレーターの要望に応じたカスタマイズも実施した。

作業後、得られた小丸太（直径 120-180mm）および中丸太（直径 200-280mm）は、それぞれ用途別に区分けされ、製材工場に搬送された。現場データと工場受け入れデータの精度比較が行われた（図 II-13）。

製材工場での受け入れ：製材工場では、自動選木機を使用し、ICT ハーベスタで得られたデータ（直径階別本数および材積）との比較が行われた。自動選木機の測定では、末口径を赤外線センサ（ILC-600 型）で、材長をレーザー距離計で測定。ICT ハーベスタによる測定値と比較したところ、データ間には若干のばらつきが確認された。特に、ICT ハーベスタは直径がやや大きめに算出される傾向があり、一方で製材工場の測定値は厳密な基準に基づいて算出されていることが示唆された。

考察と課題：ICT ハーベスタを活用することで、伐採現場での採材データが即時に記録され、材種別や直径階ごとに適切に管理できる可能性が確認された。これにより、従来の手検知による計測方法に比べて、作業効率が飛躍的に向上することが期待される。一方で、以下のような課題も明らかになった。

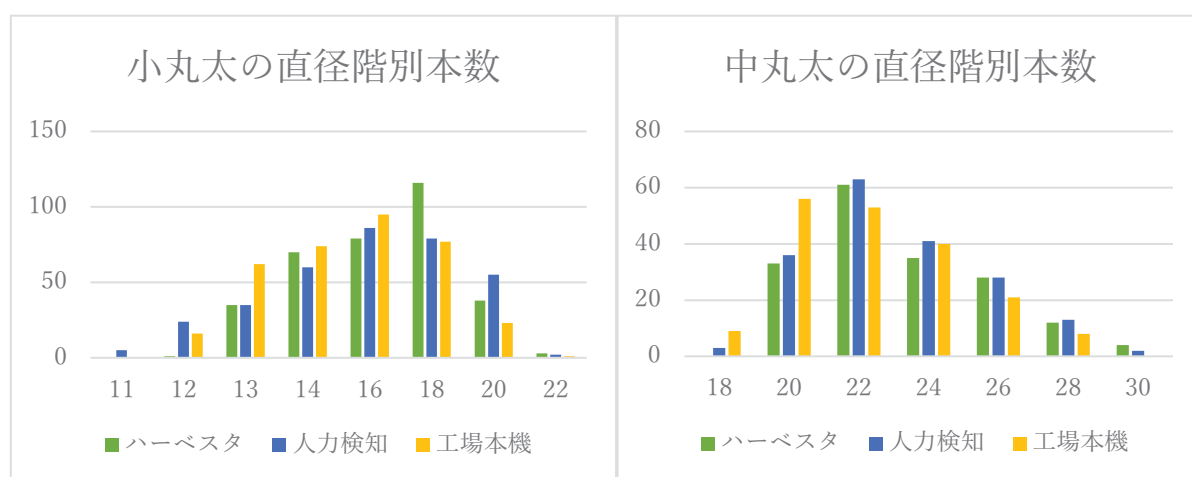


図 II-13 直径階別本数分布：小丸太については最頻値がハーベスタで 18cm に対し、人力と工場では 16cm とハーベスタがやや大きな数値を返しがち。中丸太についてはハーベスタと人力の最頻値が 22cm に対し工場が 20cm で工場がやや厳しめの設定か。人力検知では欠点を除いた最短径をしっかりと測定の印象

データ精度の向上：ICT ハーベスタの測定値は、手検知や製材工場の測定値と比較して誤差が生じることが分かった。特に、直径階の算出に関しては、現場条件やキャリブレーション方法の見直しが必要である。さらに、誤差要因を特定し、現場ごとの特性に応じた補正アルゴリズムの導入が求められる。

製材工場側の懸念：寸面省略の導入に際して、製材工場では即時確認が困難になる点や、受け入れデータの信頼性確保に課題があると指摘された。特に、小規模工場では専用の受け入れ設備を持たないため、ICT データに基づいた受け入れが円滑に進むには、教育体制の整備や必要機器の普及支援が求められる。

取引慣行の変革への対応：現状では、手検知を基にした伝票作成や管理が行われており、ICT データの活用は一部に限られている。従来の慣行を維持しつつ新技術を導入するためには、現場オペレーターや製材工場の作業員に対する教育と意識改革が必要である。

まとめ：ICT ハーベスタの活用による作業効率向上と精度向上の可能性は大いに示唆されたが、製材工場での受け入れ方法やデータの信頼性向上、現場での運用体制の整備など、課題も多く残されている。これらの課題に対応することで、ICT 技術を活用した新たな原木流通システムの構築が進むと考えられる。

② 再造林・保育

初期育林作業(地拵え、植栽、下刈り)の省力化と効率化を目指し、全工程に車両系機械を導入し、伐出作業と連携した一貫作業を実現する「機械化造林作業システム」を構築した。このシステムでは、植栽作業の効率低下要因である苗間測尺を省略しつつ、計画された位置に正確に植栽できるようにするため、GNSS 測位を活用した「植栽位置誘導装置」を開発した。この装置により、植栽位置情報を活用して下刈り作業の効率化や誤伐防止を図っている。

十勝地方の再造林に適用するため、以下のシステムを導入した：

- 地拵え：クラッシャ(Seppi 社 MINI-BMS125)を使用して、林地の末木や枝、草本を破碎し、省力的に地拵え作業を行う。破碎物によるマルチ効果で雑草木の再生を抑制する効果も期待される。また、必要に応じて伐根を切削し、後の保育作業の障害となる要因を事前に除去する(図Ⅱ-14)。
- 植栽：自動植付機(Bracke 社 P12.a)を使用し、コンテナ苗を効率的に植栽する。この機械により、高速かつ正確な植栽が可能となる(図Ⅱ-15)。
- 下刈り：乗用刈払機(筑水キャニコム社 山もっとモット)を活用し、危険で負担の大きい下刈り作業を安全かつ効率的に実施する(図Ⅱ-16)。

これにより、再造林作業全体の効率化と省力化、安全性向上が図られるシステムとなっている。



図Ⅱ-14 クラッシャ



図Ⅱ-15 自動植付機



図Ⅱ-16 乗用刈払機

植栽位置誘導装置の概要

植栽作業における効率低下の大きな要因である植栽位置の事前マーキングや測尺作業を省略しながら、計画位置に正確に植栽するため、また植栽位置情報を取得して下刈り作業の効率向上や誤伐防止に活用するため、「植栽位置誘導装置」（以下「誘導装置」）を開発した。

以前開発された装置は、作業者のヘルメットまたは背負子に取り付けた2つのGNSS受信機を使用して現在位置と方角を算出し、その情報をタブレット端末に表示することで、計画植栽位置への誘導を行うものであった。作業者は計画位置に誘導されながら、位置が一致した地点に植栽を行う仕組みである。

この装置を自動植付機用に改良し、車体上と作業機にGNSS受信機を取り付け、計画位置と現在位置を運転席に設置されたディスプレイ上に重ねて表示することで、オペレーターの操作を誘導できるようにした。この際、GNSS測位には補正用基準局や外部補正情報を必要としないQZSS衛星のCLAS方式を採用し、スタンドアローンで精密誘導が可能となっている。

さらに、この装置を再び人力植栽用に改良し、コンテナ苗植栽器具に実装したことで、機械植栽と人力植栽のどちらにも対応可能となった（図Ⅱ-17）。植栽計画は専用ソフトウェアを使って自動生成され、空撮データを反映させることや、現場で地形状況に応じた簡易な作成も可能である。

なお、伐根や岩などの障害物により、必ずしも計画通りの位置に植栽できない場合があるため、実際の植栽位置を記録しておく仕組みを採用している。この位置情報は、後の下刈り作業での誤伐防止に役立てられる。これにより、植栽作業の効率化と正確性が向上するとともに、下刈り作業の高能率化と安全性向上が期待されるシステムとなっている。



スプレーマーカ

電動オーガ

エンジンオーガ

図Ⅱ-17 植栽位置誘導装置を取付けた人力植栽器具

電動クローラ型一輪車「斜楽」搭載用植栽ユニットの開発

植栽作業の効率向上と急傾斜地での作業負担軽減を目的として、電動クローラ型一輪車「斜楽」を活用した小型植栽ユニットの開発を行った。「斜楽」は、林地内の運搬機として実績があり、高い走破性と簡便な操作性を有することから、これを植栽機として利用することで、狭所や急斜面での植栽作業の機械化が可能になると考えられた。

開発した植栽ユニットは、既存の植栽機の機構（図Ⅱ-18）を踏襲しつつ、軽量化と操作性の向上を図った。ユニットの重量は1.7kgとし、取付アームを含めても3.5kg以下に抑えた。動力を用いず、人力操作のみで植栽が可能な構造とし、操作桿を押し込むことで植栽爪が開放される仕組みを採用したことで、従来のように腰をかがめることなく作業が可能となった。また、リンク機構を取り入れ、植栽ユニットの姿勢が常に地表面に対して垂直となるよう設計し、植栽の安定性を確保した。

植栽ユニットの動作検証として、平地での模擬植栽試験を行った結果、植栽穴への苗の投入がスムーズに行え、30秒～1分以内に作業が完了することを確認した。さらに、30°の登坂・下降状態を模した試験においても、平地と同様の作業時間で植栽が可能であることが示された（図Ⅱ-19）。一方、等高線方向に移動しながらの植栽では、ユニットが地面に引っかかる課題が発生し、今後の改良が必要であることが明らかになった（図Ⅱ-20）。

動作試験の結果を踏まえ、今後は植栽爪の開放機構やリンクアームの固定方法の改良を行い、より実用性の高い植栽ユニットの開発を進める。特に、急傾斜地や狭小地における運用を考慮し、さらなる軽量化と操作性の向上を目指す。今回の開発により、小型運搬機を活用した植栽作業の機械化の可能性が示され、より効果的な省力化技術としての発展が期待される。



図Ⅱ-18 昨年度までに開発した植栽機の全景
(林産試だより 24 年 8 月で報告)



図Ⅱ-19 登坂状態を模した試験：
平地と同様の植栽作業可能



図Ⅱ-20 等高線方向の植栽：
ユニットが地面と干渉

令和 6 年度の実証試験

令和 6 年度の実証試験では、陸別町と大樹町の造林試験地を対象に、植栽方法や機器の改良を検証する改植試験を実施した。高温少雨の影響を考慮し、植栽方法の見直しや新たな技術の適用を行った。

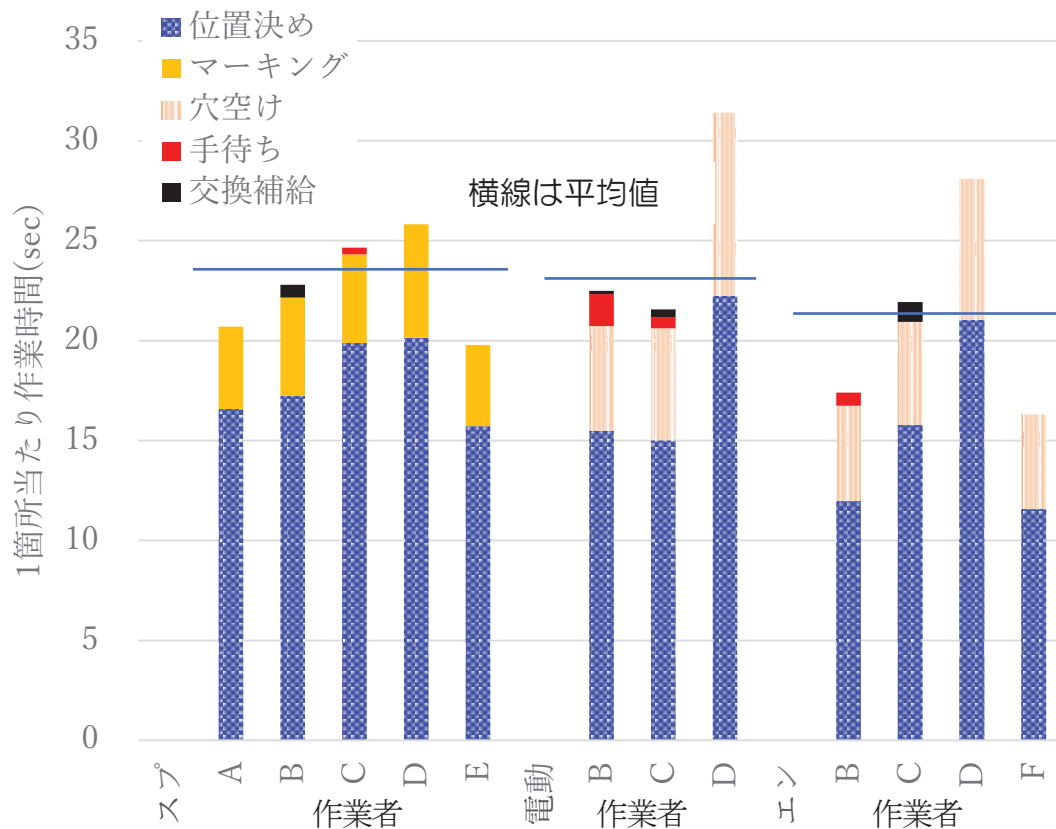
植栽試験では、自動植付機と人力用植栽器具の両方を用い、それぞれの作業効率と精度を検証した。自動植付機については、気候変動に対応する深植えやてん圧、灌水方法を試験し、植栽器具には改良した植栽位置誘導装置を実装して作業効率を評価した。植栽作業はビデオ撮影による時間分析を行い、計画植栽位置との精度比較や、活着状況の調査を実施した。

また、植栽後の下刈り作業についても検証を行い、乗用刈払機を活用した機械下刈りと人力刈払機による補正刈りを組み合わせた効率性の評価を行った。これにより、植栽から保育までの作業工程全体にわたる改善可能性を検討した。

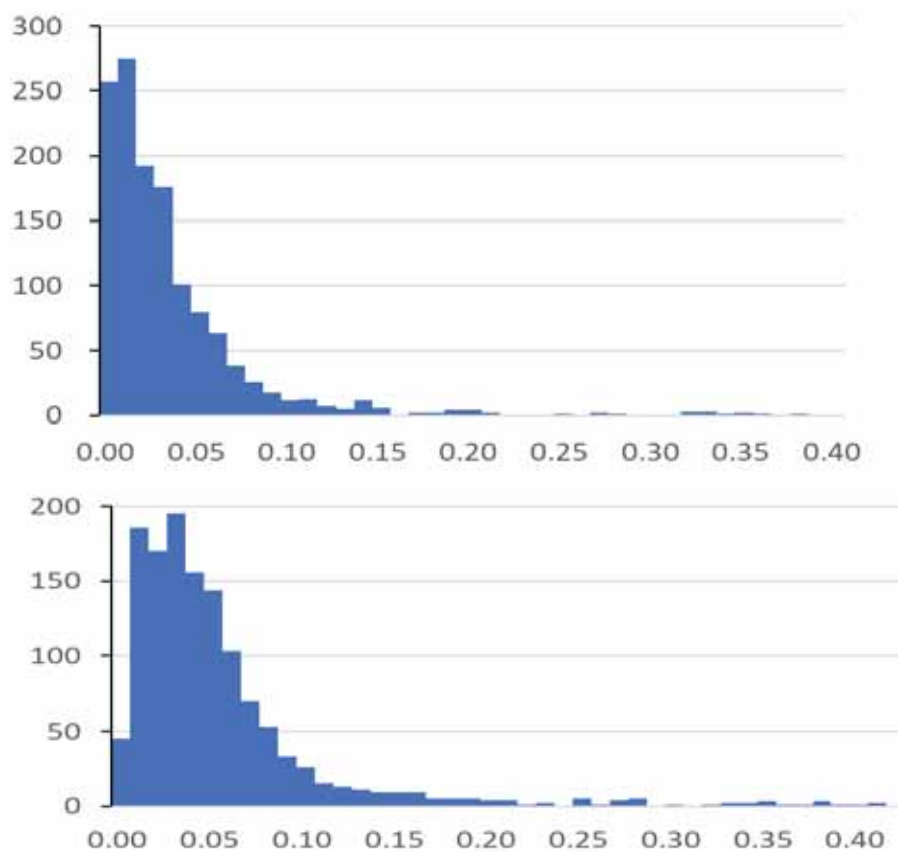
植栽および下刈り作業試験の結果

1) 人力植栽における作業効率：植栽器具の作業効率については、スプレーマーカの作業工程が 23.3 秒/本、電動オーガが 23.2 秒/本、エンジンオーガが 21.7 秒/本であった。また、対応する植栽作業の工程はそれぞれ 24.7 秒/本、23.2 秒/本、22.5 秒/本となった。作業時間の多くが位置決めで費やされており、植栽位置の精度をやや低下させることで作業時間短縮が可能と考えられる。一方、電動およびエンジンオーガ対応の植栽作業は植え穴掘り工程がないためスプレーマーカ対応より短時間であったが、植栽器具操作者の作業速度に合わせる必要があり、手待ち時間が発生した（図Ⅱ-21）。

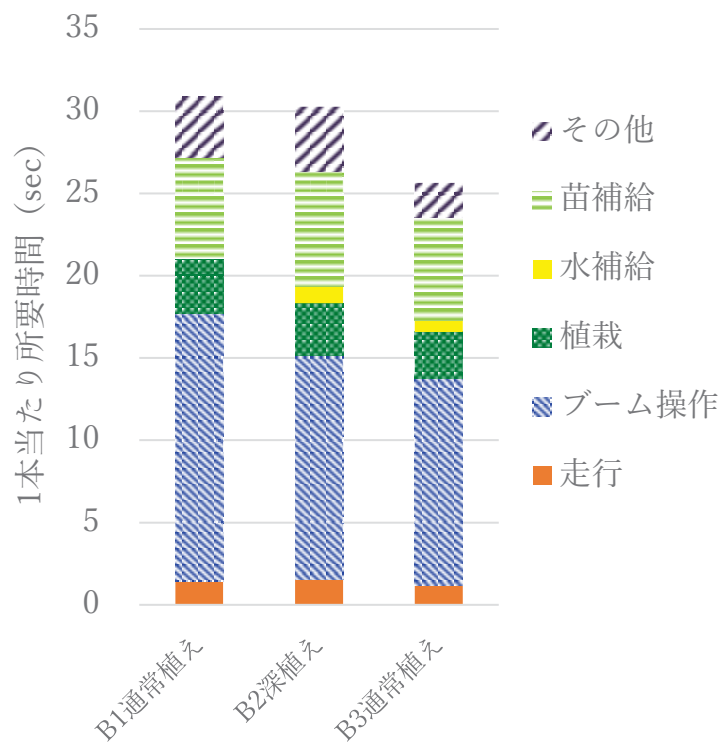
- 2) 植栽位置の精度と下刈り作業への影響：植栽位置誘導装置を使用した場合、計画植栽位置と実際の植栽位置の誤差は平均 0.06m、列からの逸脱量は平均 0.04m であった。この高い精度により、下刈り作業時の誤伐率は 0.7%程度と推定された。乗用刈払機を用いることで植栽列間を効率的に下刈りすることが可能であり、安全性と作業効率の向上に寄与した（図Ⅱ-22）。
- 3) 自動植付機の作業効率と活着率：自動植付機による作業工程は通常植えて 30.9 秒/本、深植えて 30.3 秒/本、機械植栽＋人力てん圧で 25.7 秒/本であった。これまでの試験より作業時間が増大した要因として、苗木のサイズ増加や苗木補給工程の最適化不足が挙げられる（図Ⅱ-23）。活着率の比較では、深植え区と人力植栽区が高く、乾燥に強い特性を示した。一方、植栽初年度には樹高成長よりも直径成長が優先される傾向が確認され、乾燥の影響による枝枯れや先枯れが見られた。
- 4) 位置誘導なしの下刈り作業：2024 年 6 月に位置誘導装置を取り外して下刈り作業を試験した結果、植栽列を見失う「ルートロスト」が発生し、作業時間の約 13%を占めた。この課題は植栽列の分断箇所や作業開始時に顕著であり、位置誘導装置の有無が作業効率に与える影響が明確となった。



図Ⅱ-21 要素作業別所要時間



図Ⅱ-22 植栽計画と実際の植栽位置の差分（上）
と植栽列からの逸脱量（下）のヒストグラム



図Ⅱ-23 要素作業別所要時間

コスト面での検証と作業システムの評価

クラッシャを用いた地拵えでは、伐根無処理で 122,100 円/ha、伐根全数処理で 209,100 円/ha と試算され、標準単価の 265,500 円/ha を下回った。さらに、破碎物のマルチ効果による下刈りの省略や軽減、伐根処理による下刈り作業能率の向上が期待される。

自動植付機による植栽は 69,400 円/ha と、標準単価の 97,100 円/ha を下回り、植栽位置誘導装置を含めても増加は 900 円/ha 程度であった。

電動一輪車を用いた苗木運搬では 8,200 円/ha と試算され、標準単価 16,000 円/ha より低コストであることが確認された。

乗用刈払機による列間刈りの作業単価は 70,700 円/ha、仕上げ刈りを含めても 100,700 円/ha と、標準単価の 131,800 円/ha を下回った。本事業の地拵え方法ではクラッシャによる全面地拵え＋伐根全数処理が、下刈り省力化や植栽後の車両走行性向上といった点で最も有効とされた。

植栽位置誘導装置は、高い誘導精度により自動植付機、人力植栽、乗用刈払機下刈りにおいていずれも効果を発揮し、コスト削減を上回る価値を提供することが確認された。

今後の課題

北欧製自動植付機を国産コンテナ苗に適用するための改良が求められるほか、仕上げ刈り時の誤伐防止に向けて、植栽時の位置情報を活用する技術開発が必要とされる。これらの改良により、さらなる効率化とコスト削減が期待される。

3 実証事業の総括

ここでは、収支改善の内容を中心に本実証事業全体を総括する。本事業では、1ha あたりの総収支が事業前の 1,793,000 円から事業後には 1,912,000 円へと試算結果が示された。この収支改善は、生産経費全体で 177,000 円/ha (6.3%) の削減を実現したことによるものであり、各経費項目での効率化の成果が反映されている(表 II-1、図 II-24)。

主伐や運材経費では、hpr を活用した生産管理の導入により、検知・検収作業の省略が可能となり、コスト削減と安全性向上の両立が図られた。また、再造林経費においては、位置誘導技術や自動植付機を活用し、植栽作業の精度向上や効率化を達成するとともに、労働負荷の軽減を実現している。調査経費では、LiDAR 搭載 UAV 技術の導入を通じて、データ取得や管理の効率化が進み、広範囲にわたる作業の精度向上とコスト削減に寄与した。これにより、林業施業計画の高度化や林業現場の安全性向上に向けた新たな基盤が構築されつつある。

本事業の成果は収支改善のみならず、安全性や作業効率向上への一歩であり、持続可能な林業経営の基盤構築に向けた基礎を示すものといえる。

1) 主伐・運材経費の削減と安全性向上

実証データでは、hpr を活用した生産管理の導入により、主伐および運材経費において 86,000 円/ha の削減が実現した。この削減は、土場作設や検収に要する人工の削減、寸検作

業や極積み作業の簡略化によるものである。これにより、人力作業の負担が軽減され、労働強度の低減に寄与した。また、グラップルと作業員が同一エリアで作業する際の危険性も軽減された。

さらに、運材検収にかかる人件費は、提案時の 25,000 円/ha から実証後には 2,500 円/ha へと大幅に削減された。具体的には、トラック 1 台 (25m³) の検知作業および伝票書きに要する時間が、提案時の 50 分 (検知 20 分×2 人+伝票書き 10 分) から、実証後には伝票書き 5 分のみとなり、1 台あたりのコストが 24,960 円から 2,496 円に減少した。この結果、検収作業全体の効率化が進むとともに、冬季の厳しい屋外作業時間が短縮されるなど、安全性の向上につながる可能性が示された。

また、StanForD や hpr を活用した木材流通の合理化は、単なる検知・検収作業の省略にとどまらず、作業システム全体の効率化にも貢献している。たとえば、作業機械の台数削減やトラック運材時の待機時間短縮といった成果が挙げられる。これらの取り組みにより、現場作業と生産管理の一体化が進み、林業全体の生産性向上が期待されるとともに、持続可能な木材生産の基盤強化にもつながると考えられる。

2) 機械伐倒による災害リスク軽減のためのコスト試算

本事業で導入された機械伐倒は、チェーンソー伐倒に伴う災害リスクを大幅に低減するものであり、その効果を定量的に示す試算を行った。本試算は、事業のアドバイザーである東京農業大学の今富氏のアドバイスを受けて実施しており、以下の前提条件に基づき、安全コスト軽減の可能性を評価した。

① 現在の伐木作業で発生する死亡災害はすべてチェーンソー伐倒によるものであり、ハーベスタ伐倒では発生しないとする。

② 現在の伐木作業におけるハーベスタの作業量は木材供給量全体の 10%に相当する。

林業災害による年間死亡者数は平均 31.2 人であり、その 59.6%が伐木作業中に発生していることから、年間約 18.6 人が伐木災害で命を落としていると推定される。死亡災害による労働損失日数は法令に基づき 7,500 日/人とされ、伐木災害全体での年間損失日数は 139,500 日と算出される。この損失を基に、林業従事者の年間収入 360 万円および年間就労日数 210 日から、日給 17,143 円を算出し、年間損失額は 139,500 日×17,143 円=約 23 億 9,000 万円と評価。さらに、国内の年間木材供給量を 32,939,000m³、1ha あたりの伐出量を 310m³と仮定すると、チェーンソーによる伐木作業が全体の 90%を占める場合、年間伐出面積は約 95,629ha と推定される。この条件下で、伐木災害による 1ha あたりの損失額は 239,000 万円÷95,629ha=約 24,992 円と算出された。

チェーンソー伐木をハーベスタ伐木に移行した場合、災害リスクが低下し、1ha あたり約 25,000 円の災害損失コストが軽減される。この試算は、安全性という金銭で評価しにくい要素を数値化したものであり、機械伐倒の導入がもたらす災害リスク低減効果を具体的に示している。また、これにより安全性の向上だけでなく、労働強度の軽減や作業効率の向上といった多面的な効果が期待され、林業作業の安全性向上とスマート化を進める上で重要な知見を提供すると考える。

3) 再造林経費の削減と効率化

再造林経費では、位置誘導技術や機械化の導入により作業の効率化が進み、提案時に比べて 84,000 円/ha の削減が実現した。この削減は、植付作業や下刈作業における技術革新に起因しており、苗木植栽の精度向上や下刈作業時の誤伐防止などの効果をもたらしている。また、こうした技術革新は、再造林作業全体の効率を底上げするとともに、労働負荷の軽減や慢性的な労働力不足への対応策としても有効である。

提案時の植付経費は、132,000 円/ha であったが、植栽ナビを活用した人力植栽では 78,700 円/ha、自動植付機を活用した場合には 77,600 円/ha に削減された。植栽ナビを用いた場合、従来のけん縄を用いた作業（4 名、6.6 人/ha）から、2 名での作業（3.5 人/ha）への移行により、生産性が 88%向上した。また、自動植付機の活用により、作業生産性は約 4 倍向上（6.6→1.64 人/ha）し、1 名での植栽作業が可能となるなど、労働強度が大幅に低下している。

下刈経費については、提案時の 131,800 円/ha から実証後には 100,700 円/ha に削減された。これは、従来の肩掛け式刈払機による 1 回刈りに代わり、乗用型機械刈り（70,700 円/ha）と仕上げ刈り（30,000 円/ha）を組み合わせることによるものである。この結果、生産性が 1.2 倍向上し、少人数で施業面積を拡大することが可能となった。さらに、切削刃による傷害や蜂刺されのリスクが大幅に低減し、安全性の向上が確認された。

これらの成果は、再造林作業のスマート化と効率化を進める重要な事例であり、今後の労働力不足や安全性の課題に対する有効な解決策となり得るものである。

4) 調査経費の削減と効率化

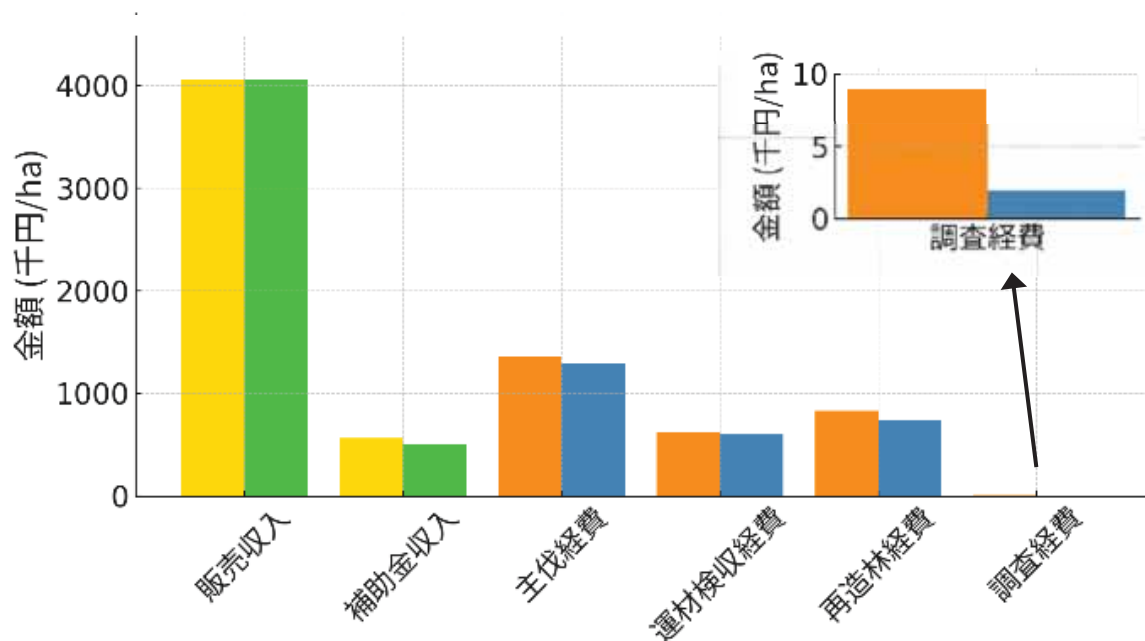
調査経費については、UAV 技術の活用により 1ha あたり 7,000 円の削減が確認された。現時点では全体のコスト削減に占める割合は小さいものの、地理空間情報の収集と活用を通じた効率化や精度向上を支える基盤技術として、その重要性は高い。特に、UAV を用いた地形や林分データの取得は、伐採から再造林・保育までの森林管理を包括的かつ効率的に行うための基本的なデータとなるとともに、林業施業計画や資源管理の高度化に寄与することが期待される。

提案時には収穫調査・路網計画踏査にかかるコストが 1ha あたり 9,000 円であったが、LiDAR 搭載 UAV の導入により実証後には 1,900 円に削減された。この削減は、毎木調査や踏査に要する人件費を効率化した成果である。LiDAR 搭載 UAV は撮影とデータ処理に要する時間を最適化し、375 円/ha のコストで広範囲のデータ取得が可能である。特に、データ取得面積が 25ha を超える場合にコスト削減効果が顕著になる。また、LiDAR データを GIS で管理・共有することにより、事務作業が効率化され、事務人工が 75%削減された。さらに、施業時には作業者が自身の位置や方向を確認しながら判断できるため、判断スピードが向上した。加えて、林内立ち入りが 99%削減され、危険なスズメバチやヒグマとの遭遇や傾斜地での事故リスクが大幅に低減するなど、安全性の向上にも寄与している。

一方で、光学 UAV は、広く普及しており、導入が容易であるため、技術実装の初期段階で有用である。写真撮影や人力カウントを組み合わせる手法は、LiDAR 搭載 UAV に比べ初期コストや運用コストが低く抑えられる場合もあり、必要に応じた柔軟な対応が可能である。この方法では、提案時と同じく 1ha あたり 9,000 円のコストが、実証後には 5,300 円

に削減された。写真撮影やカウント作業の効率化により一定のコスト削減を達成するとともに、広範囲のデータ取得が可能で、林業現場での活用事例も多い。

LiDAR 搭載 UAV は高精度なデータ取得と GIS 活用による管理の容易さに強みがある一方で、光学 UAV は普及性の高さや導入のしやすさという点で優れている。両者の特性を活かした技術選択を行うことで、現場の状況や課題に応じた柔軟な対応が可能となり、林業全体の効率化や安全性向上に寄与するものである。



図Ⅱ-24 経営モデル実証事業収支計算

総収支 177,000 円/ha (6.3%) の削減が達成された。主伐・運材では、hpr の活用により 86,000 円/ha を削減。再造林では、位置誘導技術と機械化により 84,000 円/ha を削減。調査では、UAV の活用で 7,000 円/ha を削減した。

Ⅲ 今後の事業の展開方向

本事業は令和 6 年度をもって終了を迎えるが、これまでの成果を基盤に、持続可能な林業モデルの構築と普及を目指した取り組みを進めていくことが期待される。しかし、事業を継続的に展開するためには、新たな資金確保や連携体制の強化が不可欠であり、地域や行政、企業との協力の枠組み構築が求められる。

1 生産計画

LiDAR 搭載 UAV を活用した伐採計画立案技術は、現場の計画業務を効率化する上で極めて有用である。本技術の利便性をさらに向上させるためには、データ解析の自動化や簡便な操作が可能なツールやインターフェースの開発を進めることが必要である。また、広葉樹林分を含む多様な条件下での資源量把握の実現に向け、AI 技術を活用したデータ解析の精度向上や、標準化した手法の開発への取り組みも重要である。これにより、現場作業員が直感的に利用できるシステムを構築し、地域の林業経営における計画策定の効率化と精度向上が期待される。

2 素材生産・流通

伐採から流通までの全工程をデータ主導で最適化するため、ハブスタで取得した生産データ（hpr データ）の活用を推進する取り組みが望まれる。hpr データは、伐採現場での生産情報を記録し、フォワーダや製材工場との連携を支える基盤であり、運搬計画の効率化や流通過程の透明性向上に寄与する。また、木材の位置情報や生産履歴を管理し、素材生産におけるトレーサビリティを確保するツールとして Timber Base Cloud（TBC）が活用される。これらの取り組みにより、効率的な木材流通モデルの確立とコスト削減が期待されるとともに、他地域への展開や木材産業全体の競争力向上にもつながる。

3 再造林・保育

再造林および保育作業における効率化を目指し、自動植栽機や位置誘導装置を活用した技術の普及を進める。植付ナビゲーションシステムの製品化を推進し、植栽精度の向上や作業の合理化を目指すとともに、補植や下刈り作業の省力化に向けた取組も必要である。また、伐採作業と連携する地拵え作業など、作業技術の改善にも取り組み、林業経営全体の作業効率を底上げすることで、持続可能な林業の実現に寄与する技術基盤を整備する。

4 情報共有と普及

これまでに構築された十勝モデルの連携体制を基に、道内木材産業全体における情報共有ネットワークの形成を目指す。このネットワークは、伐採から再造林に至る技術や知見を共有し、持続可能な林業経営の基盤を整えるために重要な役割を果たすことが期待される。また、現地検討会や技術セミナーを通じて、成果の普及と他地域への展開を促進する。これにより、スマート林業技術の全国的な普及に向けた基礎が形成される。

5 事業の持続可能性

事業の継続的な展開を実現するためには、外部資金の確保や関係機関・企業との連携強化が必要である。これまでに得られた成果を基に、関係者への説明や提案を通じて、事業の価値を広く周知していくことが求められる。また、事業成果を広く利用可能にするため、マニュアルや技術資料を整備し、他地域での応用可能性を高める取り組みを進める。

表Ⅱ-1 経営モデル実証事業収支計算

					1haあたり試算（千円/ha）
			提案時	実証後	備考
収入			4613.5	4556.1	
		販売収入	4050.0	4050.0	平均販売価格13.5千円
		補助金収入	563.5	506.1	造林経費の68%
支出			2820.8	2644.3	
	主伐経費		1358.1	1295.6	
		主伐経費	1208.1	1208.1	作業者3人、機械（Hv1台、Gp11.5台、Fwd1台）
		土場桟積み（人件費）	150.0	112.5	土場作業の簡略化
		機械伐倒による災害損失の減少	0.0	-25.0	災害損失コスト算出
	運材検収経費		625.0	602.5	
		トラック運材経費	600.0	600.0	2千円/m3
		運材検収（人件費）	25.0	2.5	トラック積込時の検収作業の簡略化
	再造林経費		828.7	744.3	
		地拵え	176.5	176.5	標準単価（耕耘、手刈り補正なし、10°以上）
		苗木代、苗木運搬費	388.4	388.4	カラマツコンテナ1号苗2000本：374千円、苗木運搬費14.4千円
		① 植付経費（人力植栽）	132.0	78.7	人件費は調査値で比較、総収支は①を選択
		② 植付経費（自動植付機）	132.0	77.6	自動植付機69.4＋一輪車8.2千円、総支出には②は加算しない
		下刈経費	131.8	100.7	機械刈り70.7千円＋仕上げ刈り30.0千円
	調査経費		9.0	1.9	
		① 収穫調査・路網計画踏査	9.0	1.9	LiDARドローンを利用、総収支は①を選択
		② 収穫調査・路網計画踏査	9.0	5.3	光学ドローン利用、路網計画は人力踏査、総支出に②は加算しない
総収支			1792.7	1911.8	